



**XII. IFFK 2018**

# Autóelektronika, meghibásodás, biztonság

Dr. Harsányi Gábor  
egyetemi tanár  
Gordon Péter, Hurtony Tamás,  
Medgyes Bálint

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS



BUDAPEST MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
ELEKTRONIKAI TECHNOLOGIA TANSZÉK

# Tartalom

- Mi a megbízhatóság?
- Hogyan vizsgálhatjuk a megbízhatóságot?
- Terepről származó esettanulmányok
- Az elektrokémiai migráció veszélyei
- Élettartam modellek és vizsgálatok problémái
- Védekezés, megelőzés
- Még több: a whiskerek titkai
- Konklúzió

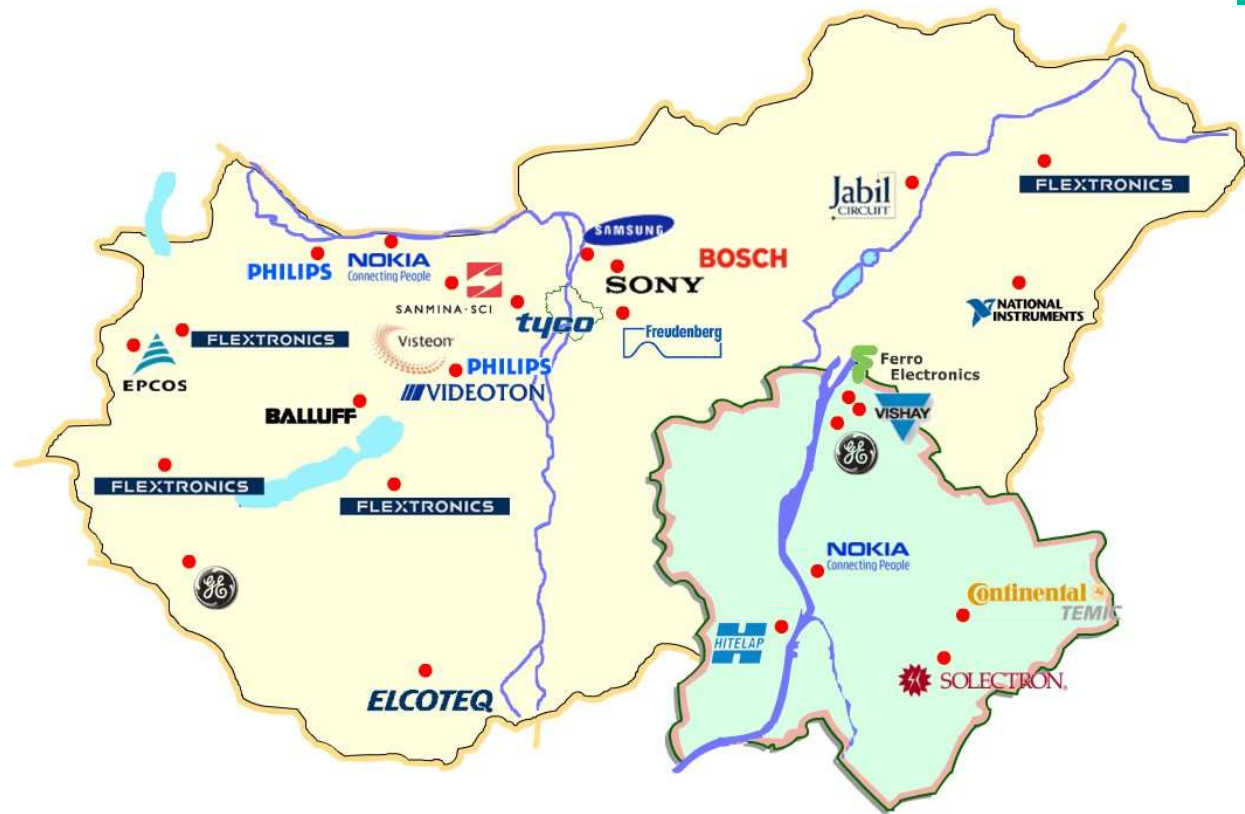
# A magyarországi elektronikai gyártóipar

- elsősorban felületi szereléstechológia (SMT)
- többnyire szerződéses gyártók, pl. **AUTÓELEKTRONIKAI BESZÁLLÍTÓK**

## JELENTŐS IGÉNYÜK VAN:

- megbízhatóság és
- minőség javítására
- hibaokok felderítésére

Ebben kínál a BME-  
ETT együttműködési  
lehetőséget.



# A BMEETT hibaanalitikai vizsgálati módszerei

**PEM**



**RTG**



**Alkatrész letolás**



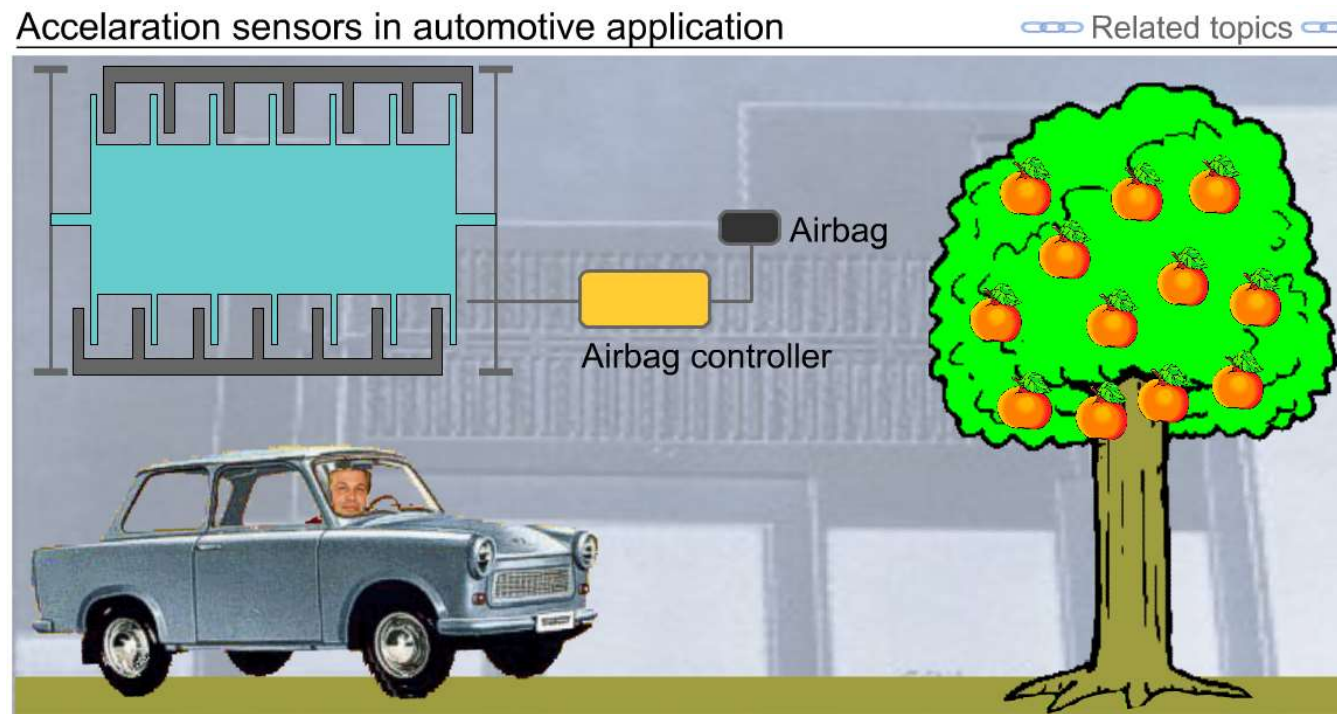
**AFM**



**Klímakamrák**

# Mi biztonság az autóban?

- Az elektronika vigyázza életünket



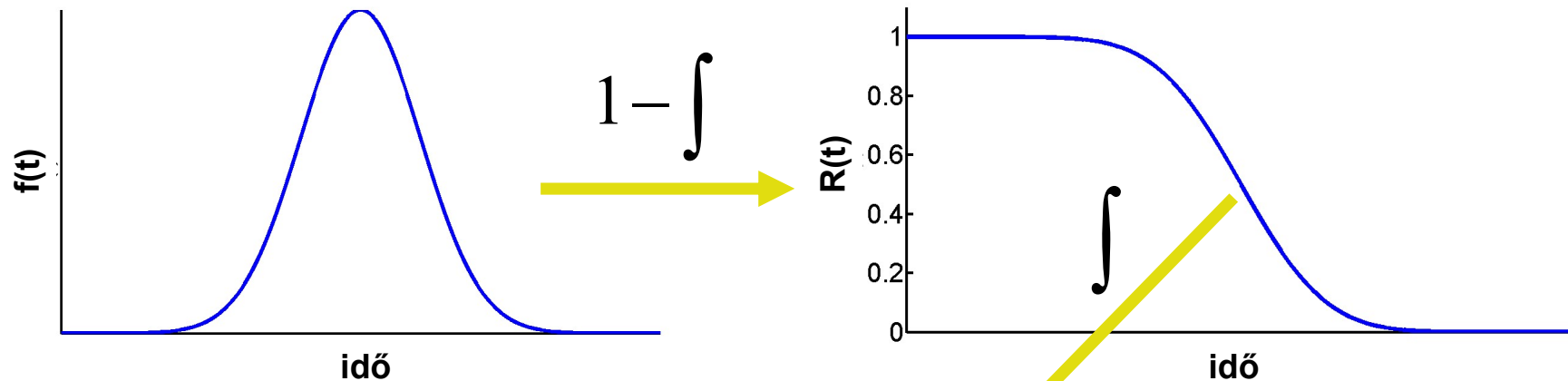
- Megment, de nem „bánt”

# A MEGBÍZHATÓSÁG

a hibamentes működés valószínűsége

A megbízhatósági függvény,  $R(t)$  jellemzői:

- 1-ről indul (a nulla időpillanatban minden alkatrész működőképes),
- 0-hoz tart (minden alkatrész meghibásodik),
- csökkenő jelleget mutat (az alkatrészek öregednek),
- teljes időtartományra vett integrálja a várható élettartamot adja ( $T_0$ , MTTF, Mean Time To Failure).



$$T_0 = E(\tau) = \int_0^{\infty} R(t) dt$$



# MEGBÍZHATÓSÁGI TERVEZÉS

A rendszerek meghatározott körülmények között történő (hibamentes) működése meghatározott pontossággal tervezhető, „jósolható”:

- megtalálható a termékek megbízhatóságának optimuma (a gyártói költségek tükrében),
- kritikus rendszerek esetén tervezhető a preventív javítás időpontja,
- tervezhető a termékek élettartama (korai meghibásodás, erkölcsi elavulás),
- kritikus rendszerek esetén tervezhető a tartalékolás mértéke,
- a termék elemeinek megbízhatósága összehangolható.

A klasszikus módszer: **MTTF** meghatározása.

Napjaink kihívása: a First TTF (**FTTF**) meghatározása:  $R(t)=1$ , ha  $t < FTTF$

→ ehhez az **MTTF szórása** is kell, ami meghatározása „random” folyamatoknál igen nehéz .

# A MEGBÍZHATÓSÁG FÜGG

Az egység kivitelétől és üzemétől:

- alkalmazott anyagok és előállítás technológiák,
- kiviteli típus (kereskedelmi, ipari, katonai), alkalmazott védelmek (bevonat, tok, ház, stb.)
- üzemi terhelés (U, I),
- üzemi hőmérséklet

A környezeti körülményektől:

- Mechanikai : rázás, ütés, mech. feszültségek,
- Elektromágneses hatások és sugárzások
- Vegyi hatások (pl. korrozív környezet, olaj)
- **Klimatikus (T és páratartalom és ingadozása),**
- egyéb

**Bizonytalan!  
(legrosszabb  
esetre tervezés)**

Az MTTF meghatározásának lehetőségei:

- alkatrészek modellezésével (bonyolultsága miatt erősen korlátozott ),
- kísérletileg: gyorsított élettartam teszt mérésekkel és ún. gyorsítási modellek alkalmazásával :

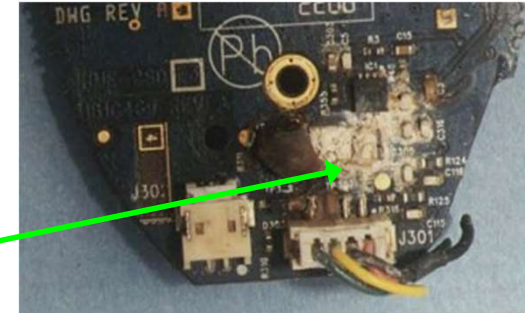
$$MTTF_{\text{becsült}} = MTTF_{\text{teszt}} / ACCF \text{ (acceleration factor, az alk. teszt gyorsítási tényezője)}$$



# A KÉSZÜLÉKEK „ÉLETE” SORÁN KIALAKULÓ MEGHIBÁSODÁSOK

- **Korrózió:**

a szerkezeti anyagok felületéről kiinduló, kémiai, illetve elektrokémiai folyamatok következtében létrejövő károsodás.



- **Fáradásos/túlterheléses törés:**

a szerkezeti anyagok kis-, illetve nagyciklusszámú fáradása okán bekövetkező károsodás. (pl. hőciklus v. mech. terhelés)

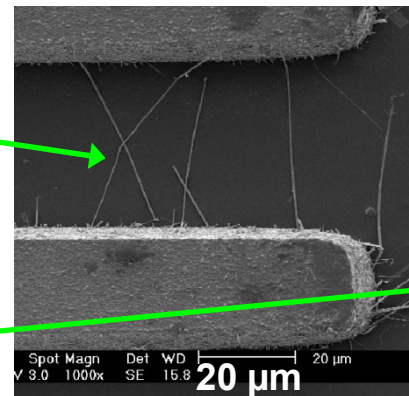


- **ESD/EOS (Electrostatic Discharge/Electric Overstress):**

a meghibásodást a hőhatás járulékos jelenségei váltják ki.

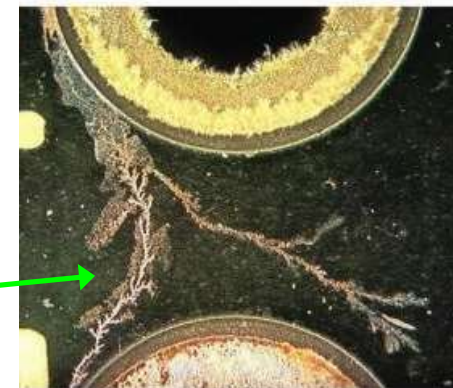
- **Whisker:**

tűszerű egykristályok kinövése fémekből, melyek rövidzárlatot okozhatnak.

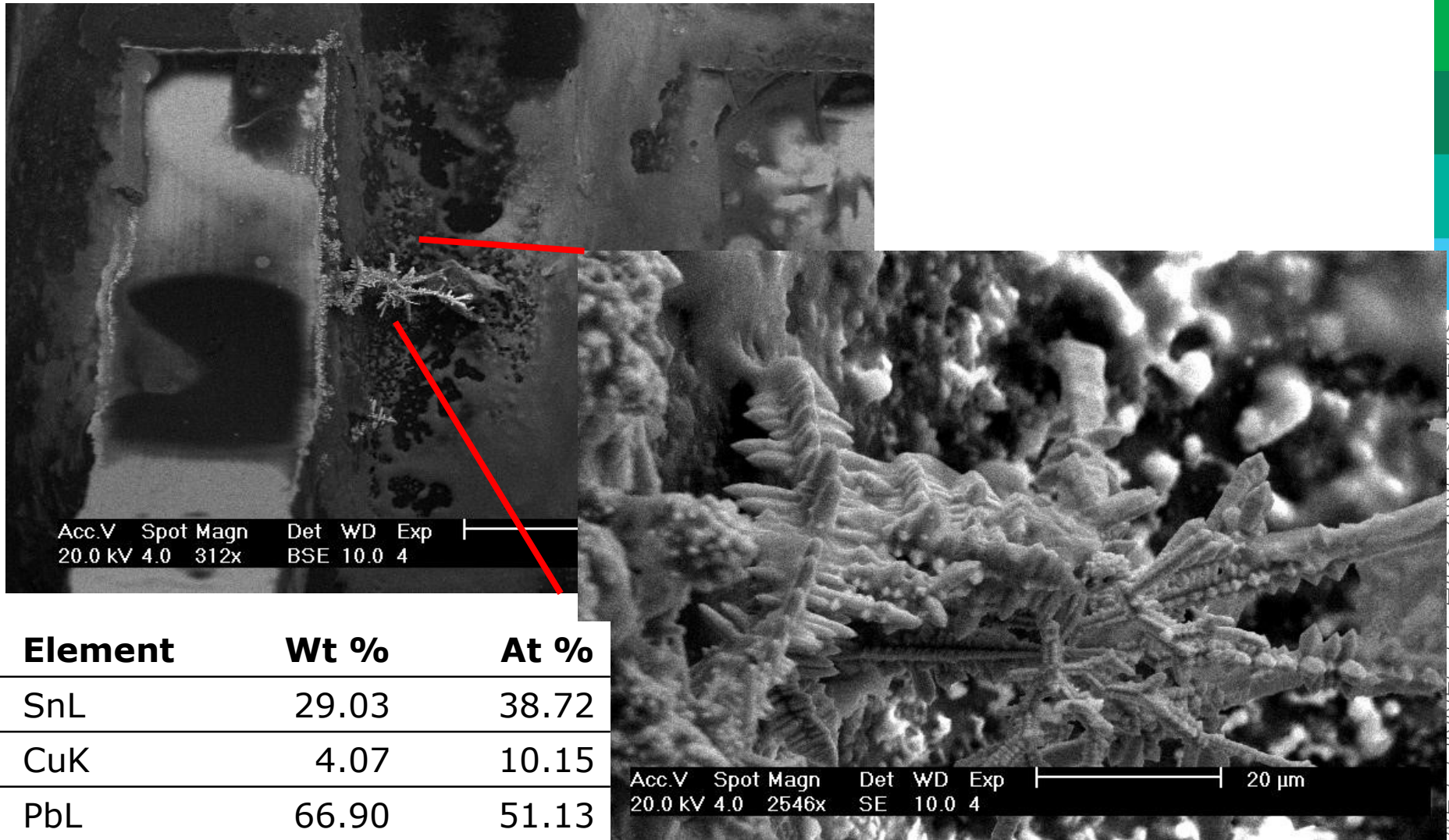


- **Dendrit:**

elektródok között, elektrokémiai migráció következtében kialakuló fémkiválás, amely rövidzárlatot okozhat.

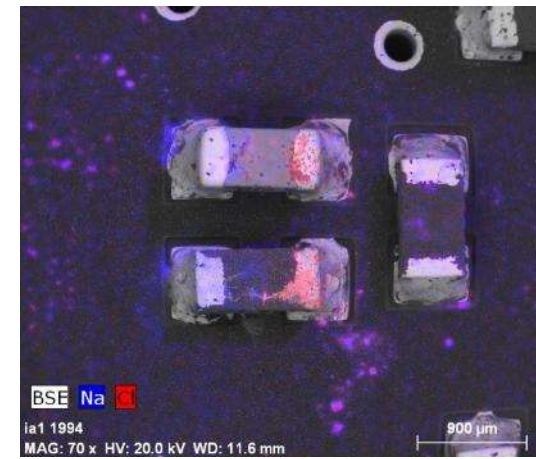
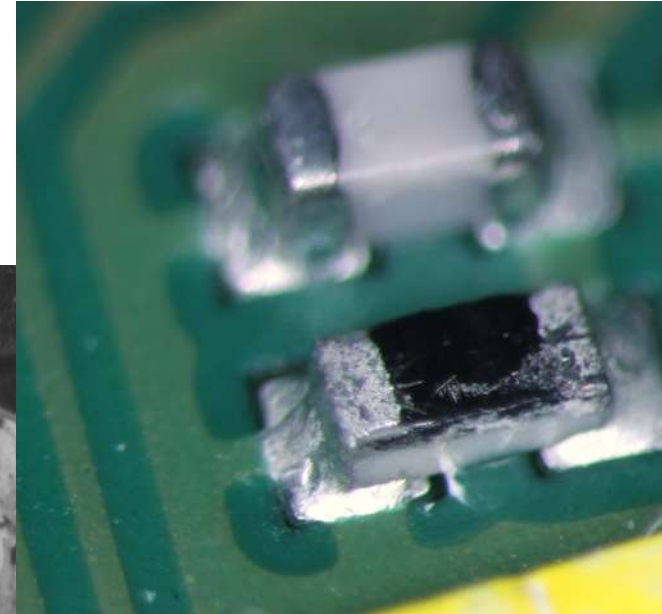
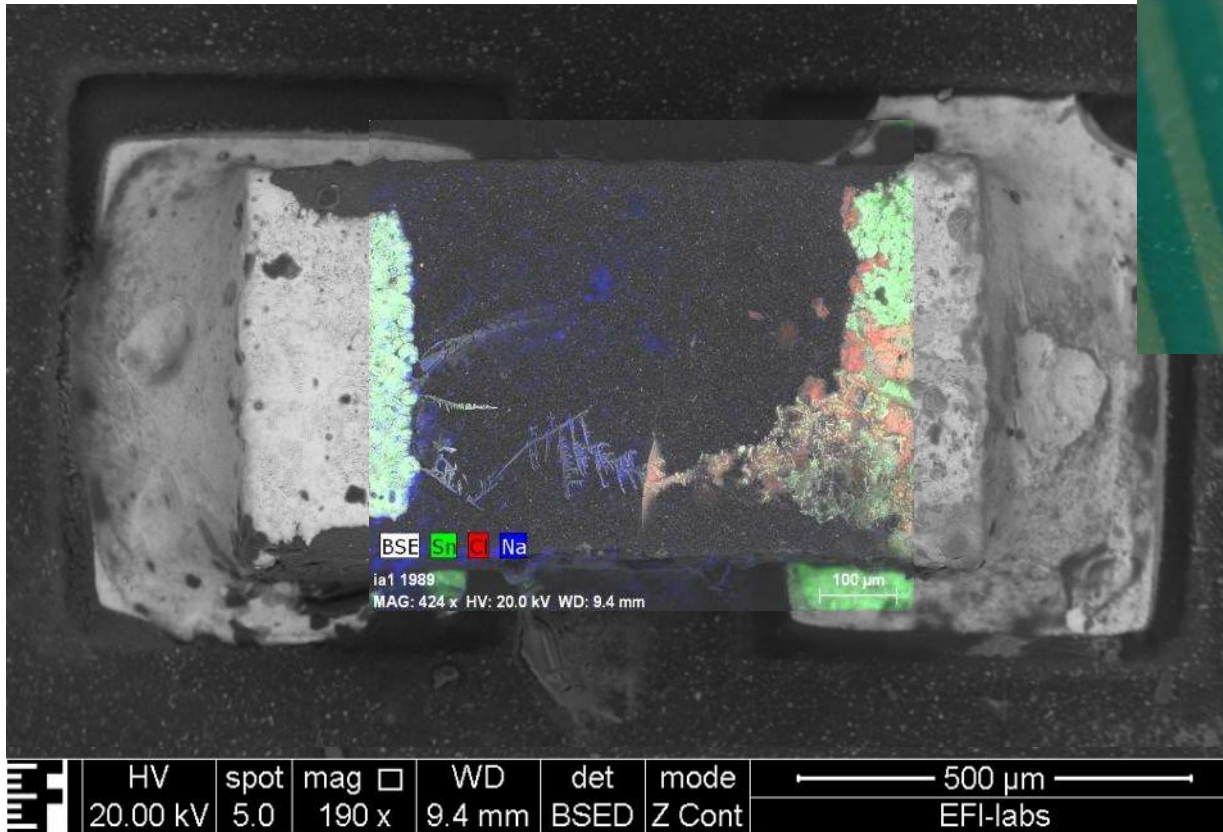


# Példa a terepről: dendritek (faágszerű képződmények) okozta rövidzár

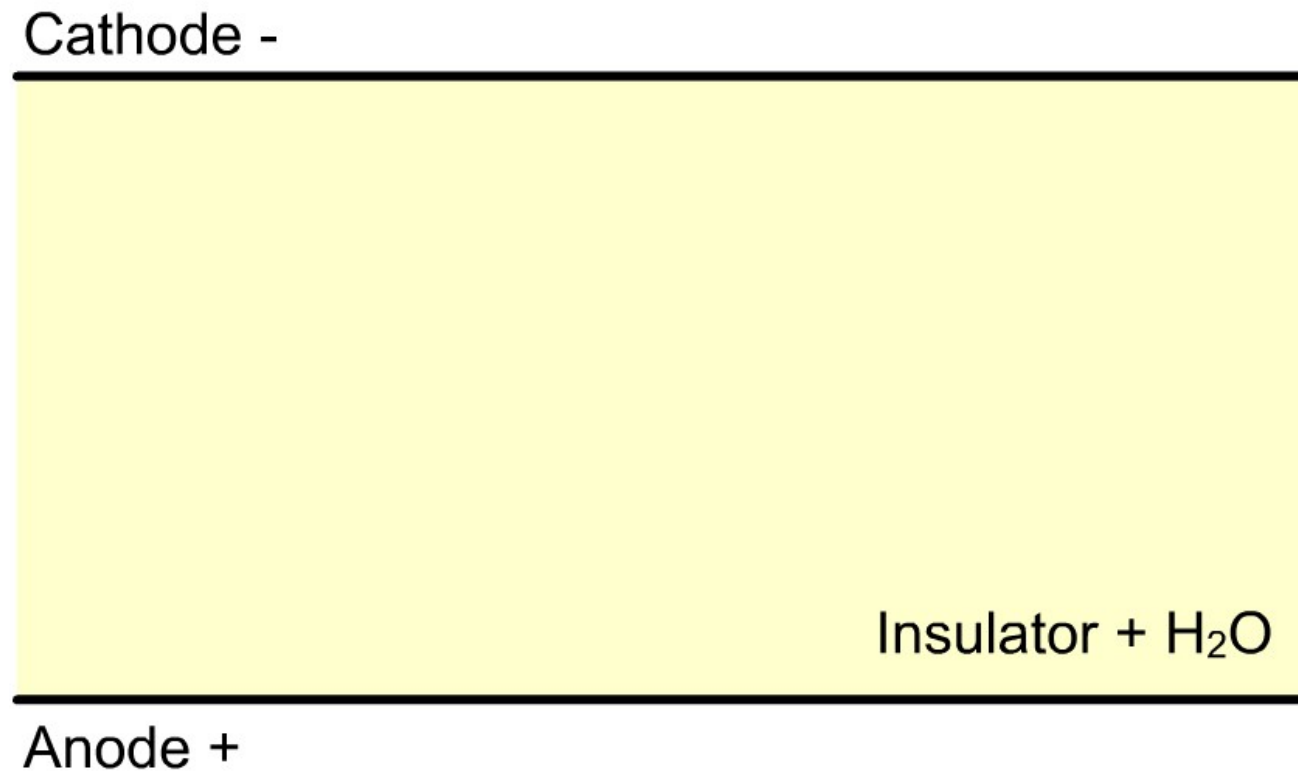




# Példa a terepről: NaCl szennyezés okozta migráció



# Az elektrokémiai migráció modellje:

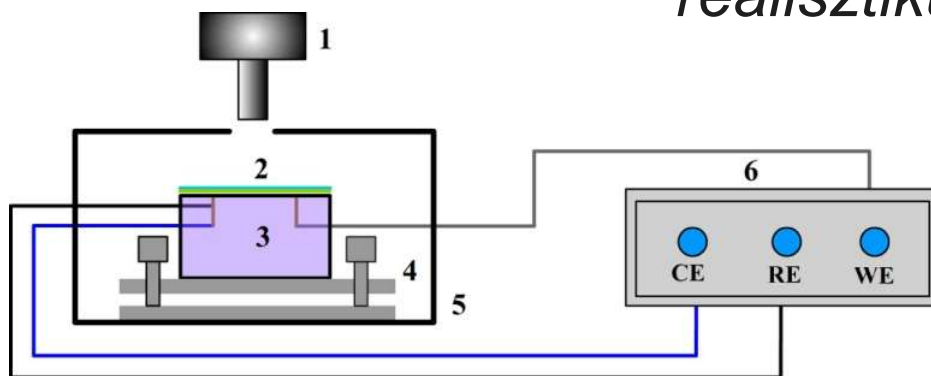


# Az elektrokémiai migráció (ECM) folyamata

- Dendritképződés okozta rövidzárok kialakulása miatt katasztrofális hibák kialakulása
- Működés közben, klimatikus viszonyok speciális alakulása ill. külső szennyezések idézhetik elő
- Önjavulás és hibaregenerációs ciklusok kialakulása, beazonosítása nehéz
- A folyamat:
  - Párhuzamos vezetők között villamos feszültség
  - Összefüggő nedvességréteg kialakulása
  - Ionos oldódás az anódon
  - Ionvándorlás a katód felé
  - Ionok kiválása dendrites formában a katódon
  - Dendritek átnövése
  - Rövidzár
  - Rövidzár felszakadása
  - Újabb rövidzárok, stb.

# Elektrokémiai migrációs vizsgálati módszerek

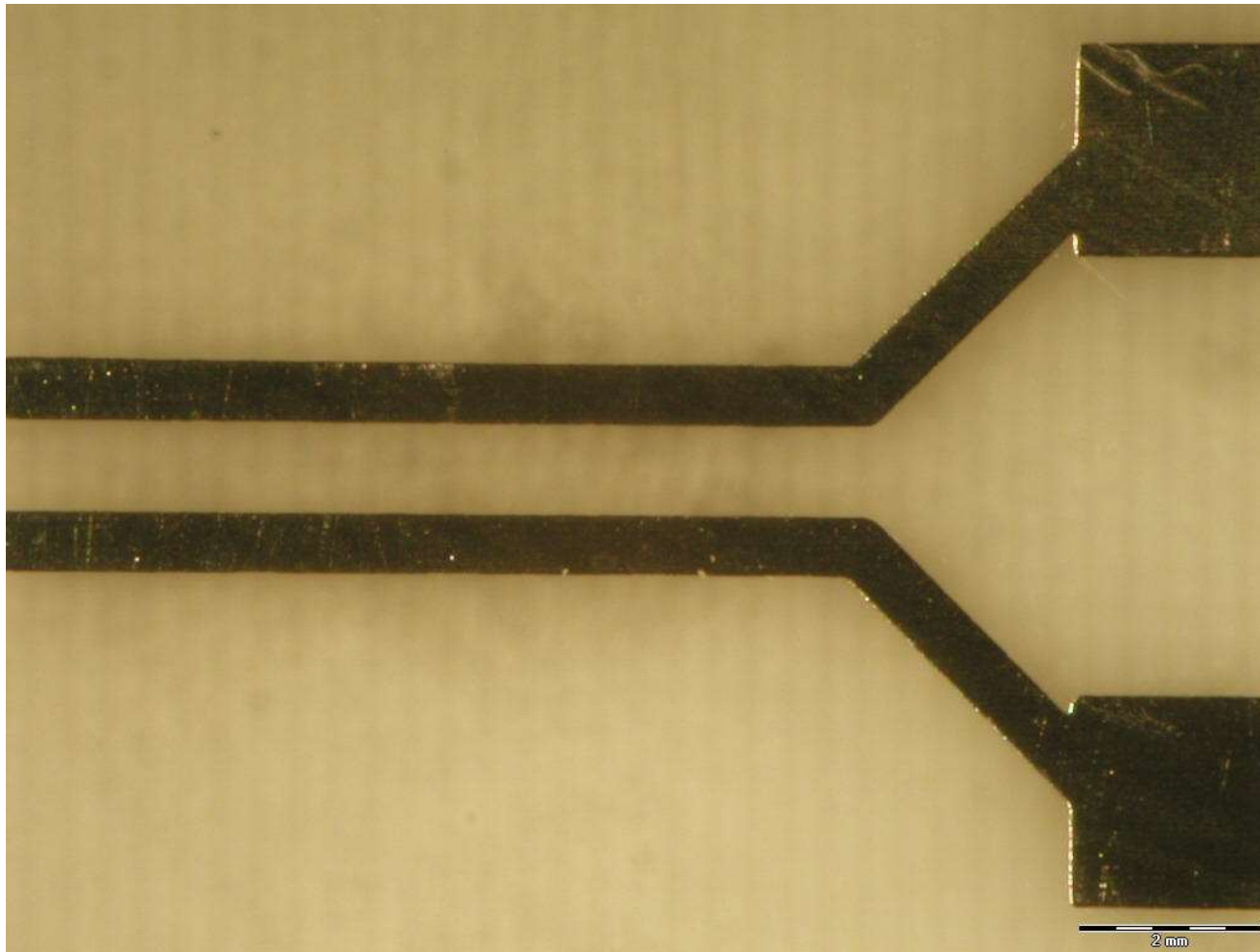
- **Vízcsepp teszt, "Vékonyréteg elektrolit" teszt és egyéb elektoranalitikai vizsgálatok** (pl.: ciklikus voltammetria)
  - Általában labor körülmények
  - Gyors, de kevésbé realiztikus
- **Klíma kamrás vizsgálatok**
  - Valós környezeti hatások (pl.: T, RH) szimulációja
  - Általában lassabb vizsgálat, de realiztikusabb



"Vékonyréteg elektrolit" teszt vizsgálati összeállításra példa: 1) 3D mikroszkóp, 2) vékony elektrolit réteg, 3) mintatartó, 4) magasság beállító eszköz, 5) üvegedény 6) potenciószót



# Tesztábra a vízcsepp (WD) teszthez



Katód

Anód



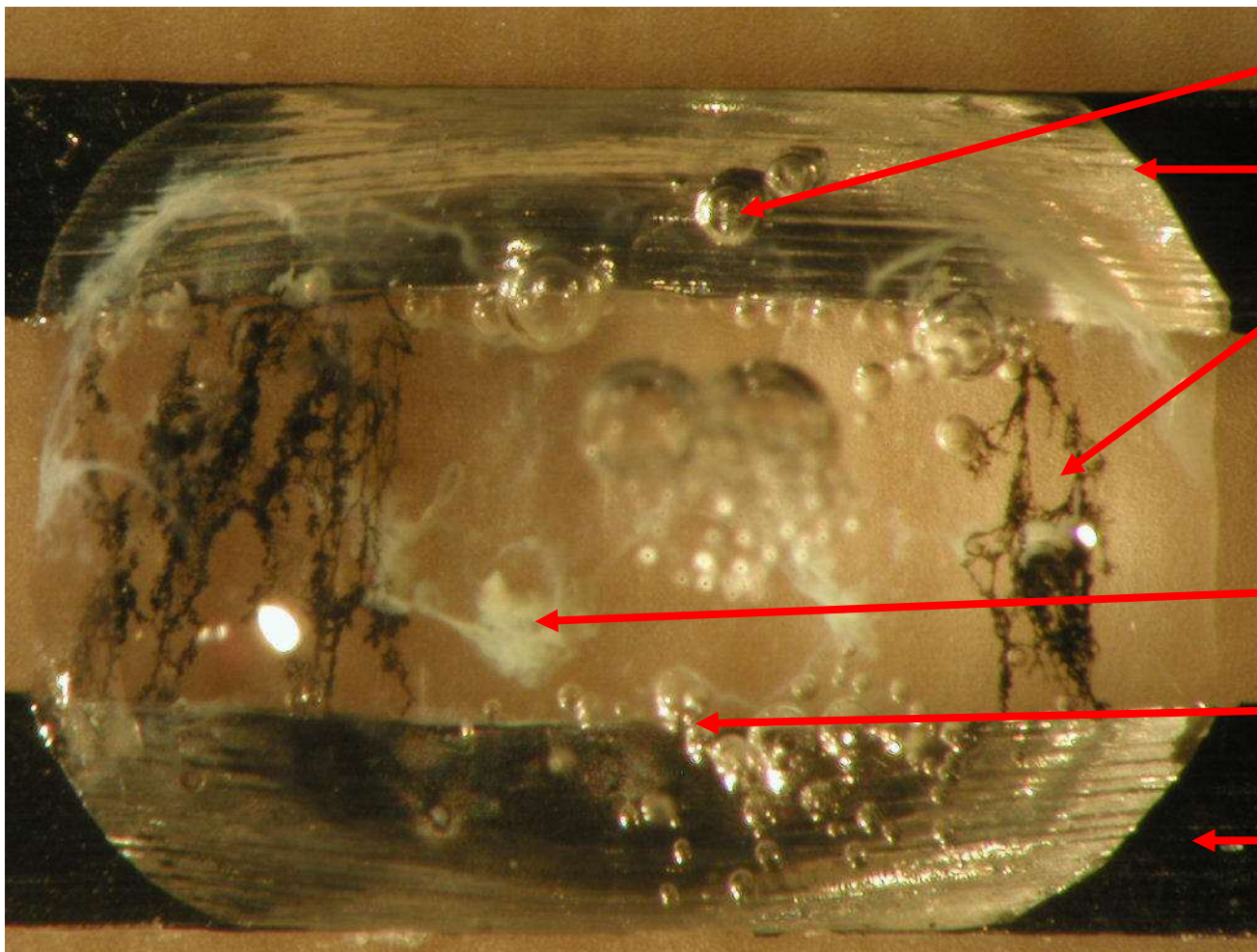
# Az ECM folyamata

pH

8-9

7

4-5



$H_2$

Katód

Dendritek

Csapadék

$O_2$

Anód

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

# Becsülhető-e az MTTF ill. FTTF ?

Gyorsítási modell?

$$MTTF = C \times \left(\frac{L^q}{U^p}\right) \times (RH)^{-x} \times e^{\left(\frac{E_a}{kT}\right)}$$

Pecht

Arrhenius

Kondenzáció nélkül

$C, p, q, x$  empirikus állandók,  
 $U$  a villamos feszültség,  
 $L$  az elektródák közti távolság,  
 $RH$  a relatív páratartalom,

$E_a$  az aktivációs energia,  
 $k$  a Boltzmann-állandó,  
 $T$  meg az abszolút hőmérséklet.

Az ECM kondenzációt feltételez: ez egy  $RH_{krit}$  felett indul el,  
ami a felületi minőség és szennyezők függvénye

$RH < RH_{krit}$  nincs meghibásodás

$RH > RH_{krit}$  gyors meghibásodás

# Becsülhető-e az MTTF ill. FTTF ?

## Gyorsítási módszer ?

### Gyorsított élettartam vizsgálatok:

- Terhelés (U-I) szükséges: 10 VDC (IPC 2.6.14.1)
  - 85°C/85%RH (JEDEC Test Method A101-B) – nincs kondenzáció
  - 40°C/95%RH (IEC 68-2-3) – „random” kondenzáció
  - HAST (Highly Accelerated Stress Test - JEDEC Test Method A110-B), 110°C -130°C/ 85% p > 1atm – kérdéses kondenzáció
  - Autokláv („pressure cooker”, JEDEC Test Method A102-C) : 121°C, 100% RH es 2 atm – biztos kondenzáció
- ➔ Ciklikus „harmatpont” teszt realiztikusnak tűnik: váltakozva 40°C/95RH% - 10°C/60RH% kb. 20 perces szakaszokkal

# Problémák

- *Nem tudjuk mi történik pontosan a dendrit képződési folyamat megindulása előtti szakaszban (pl.: nedvesség kondenzáció során) és ez hogyan befolyásolja a meghibásodásig eltelt teljes időt.*
- *A fentiből következően nem található olyan gyorsítási modell sem, ami a hiba bekövetkezéséig a teljes folyamat leírását célozza.*

# Mérési módszer az elektrokémiai migráció folyamatának „*in situ*” vizsgálatához

➤ **A mérőrendszer alkalmazási korlátai:**

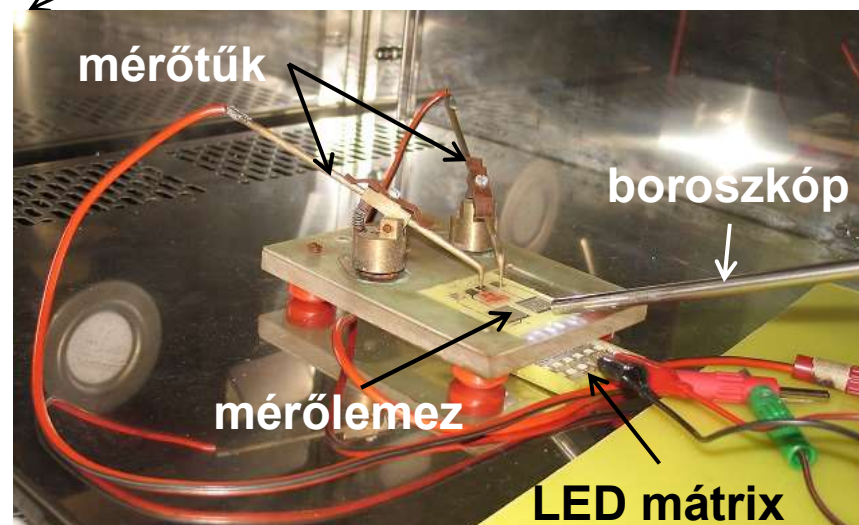
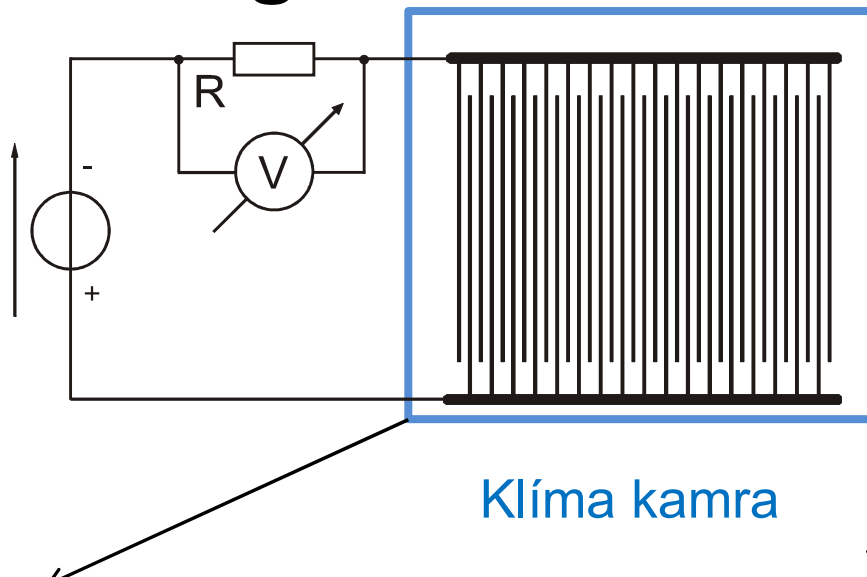
- *hőmérséklet -20 és +150 °C U között*
- *100% légnedvességig*
- *1.7 bar nyomásig*
- *megfigyelési szög: 50 fok*

➤ **Harmatpont teszt:**

- *10 °C / 60 % RH (20 perc)*
- *40 °C / 95 % RH (20 perc)*

➤ **Teszt paraméterek:**

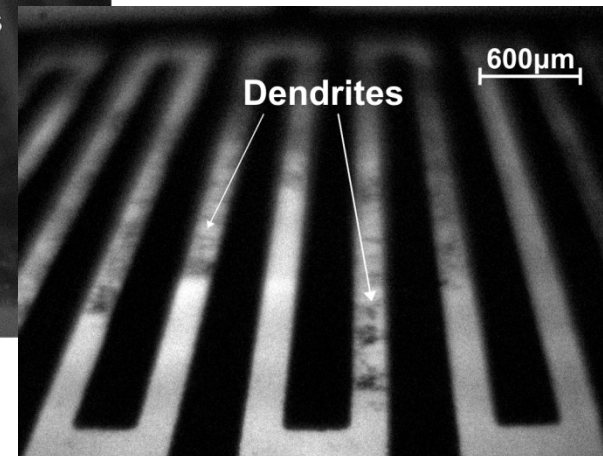
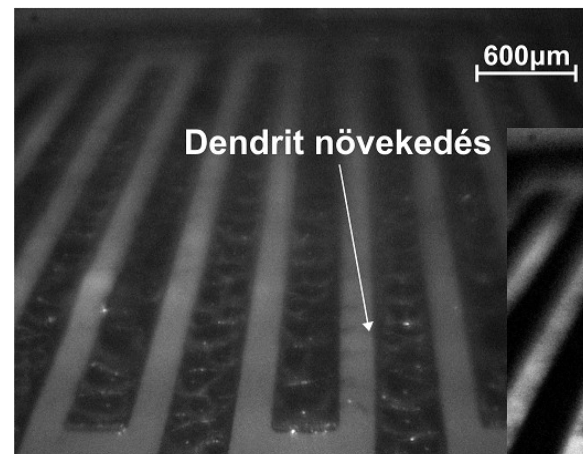
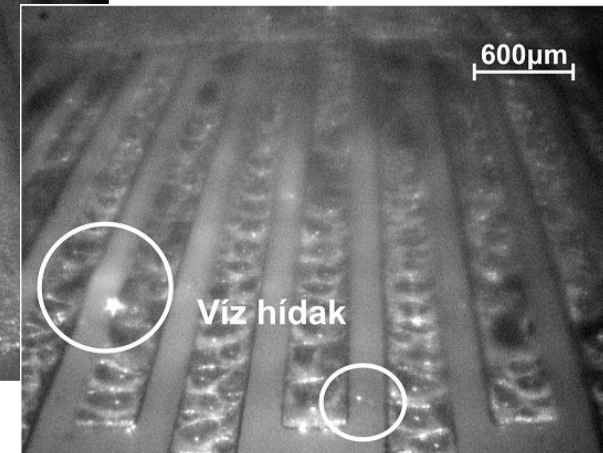
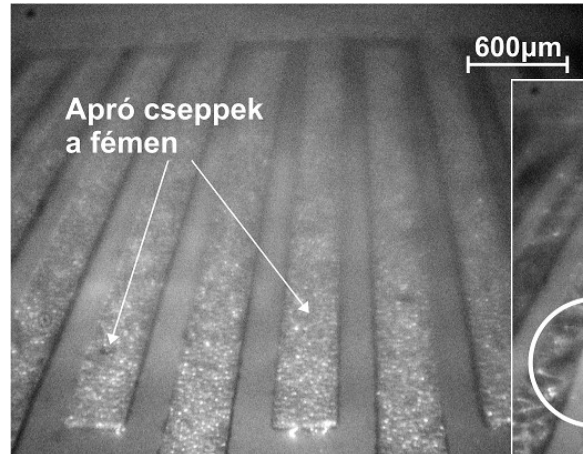
- *V = 10 VDC*
- *R = 1 kΩ*



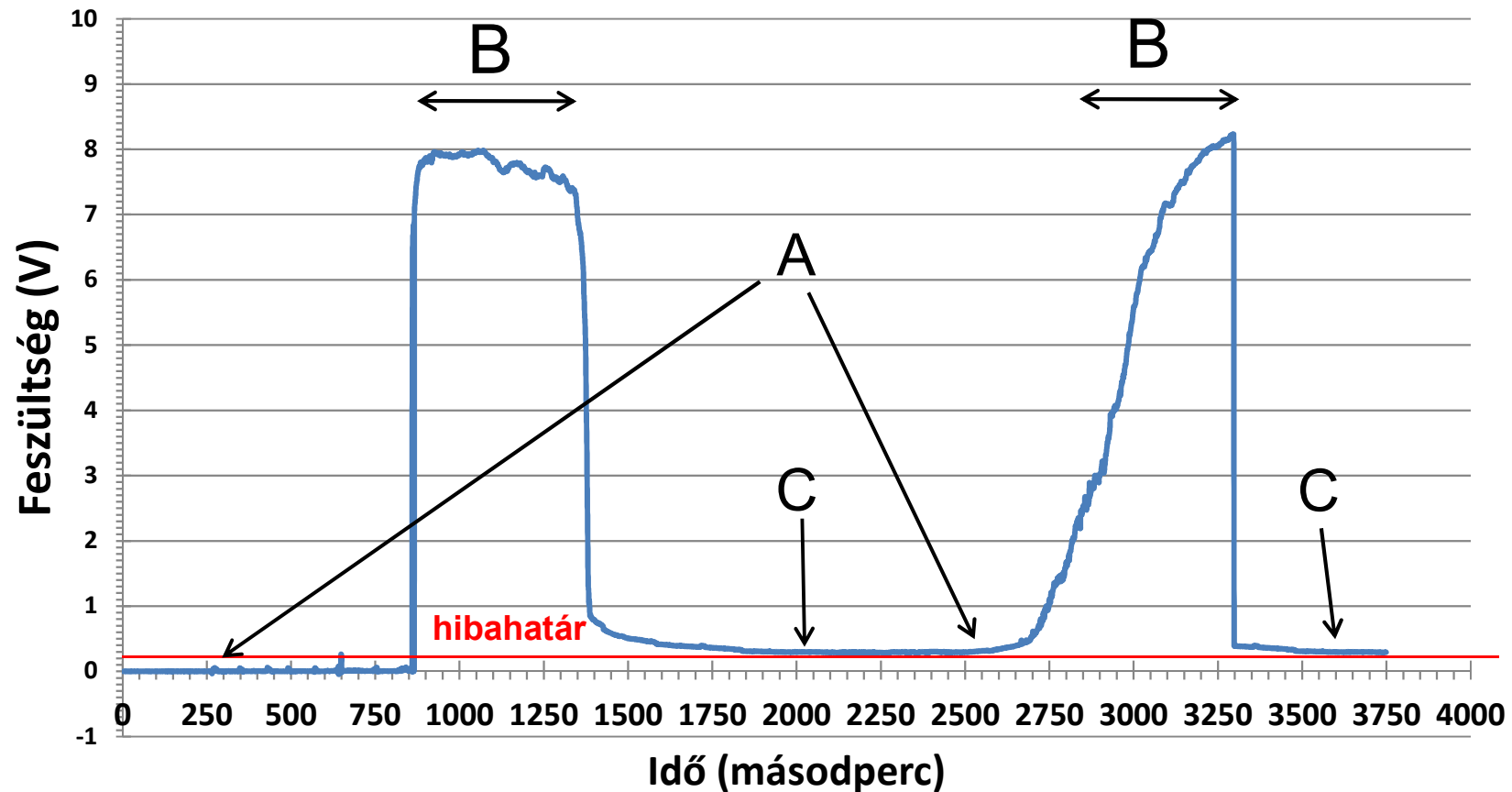


# Víz kondenzáció és dendritképződés vizuális megfigyeléssel

1. Először apró cseppek formálódnak a fémen (nukleáció), miközben a szigetelőn relatíve még apróbb cseppek feltételezhetők.
2. Majd egyre nagyobb cseppek alakulnak és nedvesség szigetek formálódnak a fémen, a szigetelő rétegen nem feltételezhető a növekvő cseppek szigetekké való összenövése vagy folytonos nedvesség film kialakulása (nincs dendrit).
3. Végül a nedvesség először lokálisan „hidakat” képez a vezetópályák között és ekkor már megindul a dendritképződés, majd kialakul a folytonos nedvesség film a teljes szigetelőn, ami zárlathoz vezet.



# Víz kondenzáció és dendrit képződés villamos jel követésével

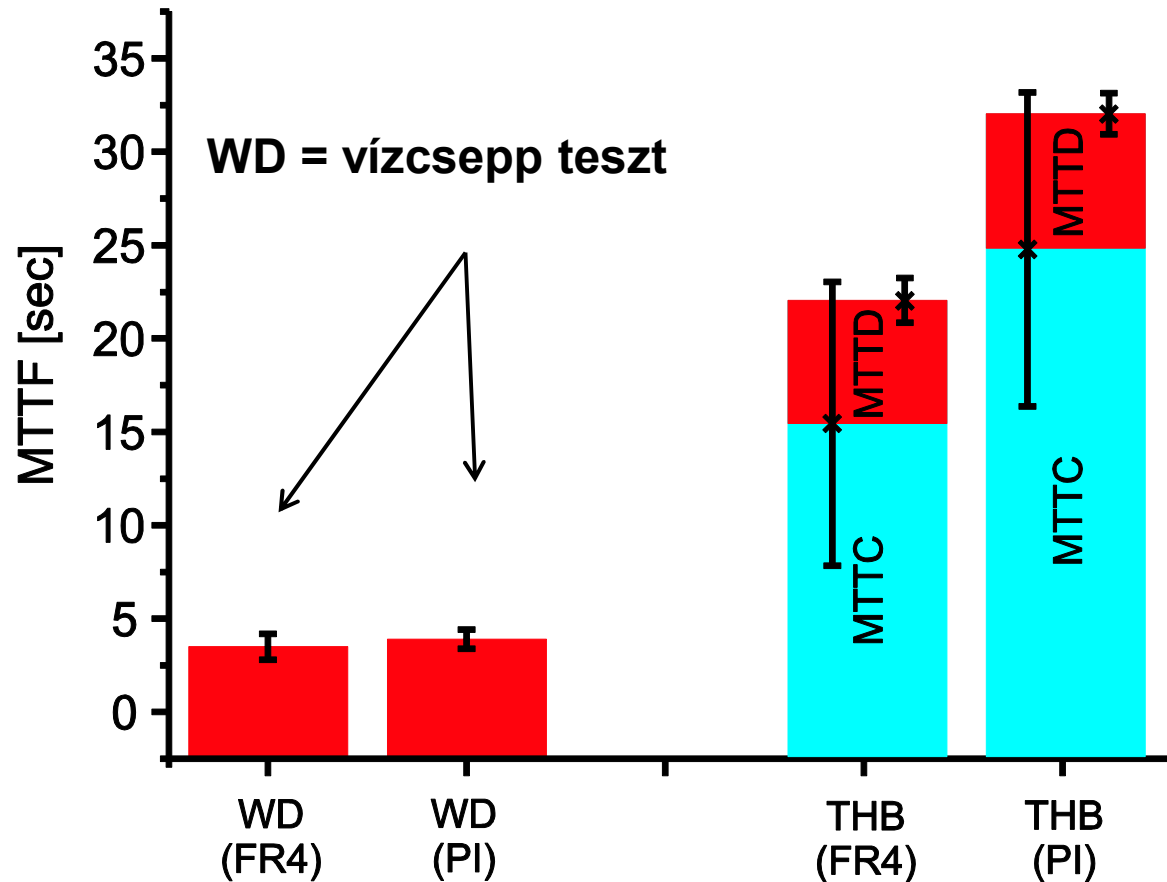


**A: kondenzáció kezdete, B: nedvesség híd és dendrit képződés, C: száraz felület**



# A kondenzációs idő és a meghibásodásig eltelt teljes idő viszonya különböző szigetelő hordozókon, azonos vezető anyaggal

THB = terheléses nedvesmeleg-állósági teszt



Hibahatár MTTC: 0.1 VDC (~ első dendrit kezdeti megjelenése)

Hibahatár MTTD: 1 VDC (meghatározása: empirikus úton)

# Elektrokémiai migráció elleni védelem

## *Fizikai védelem:*

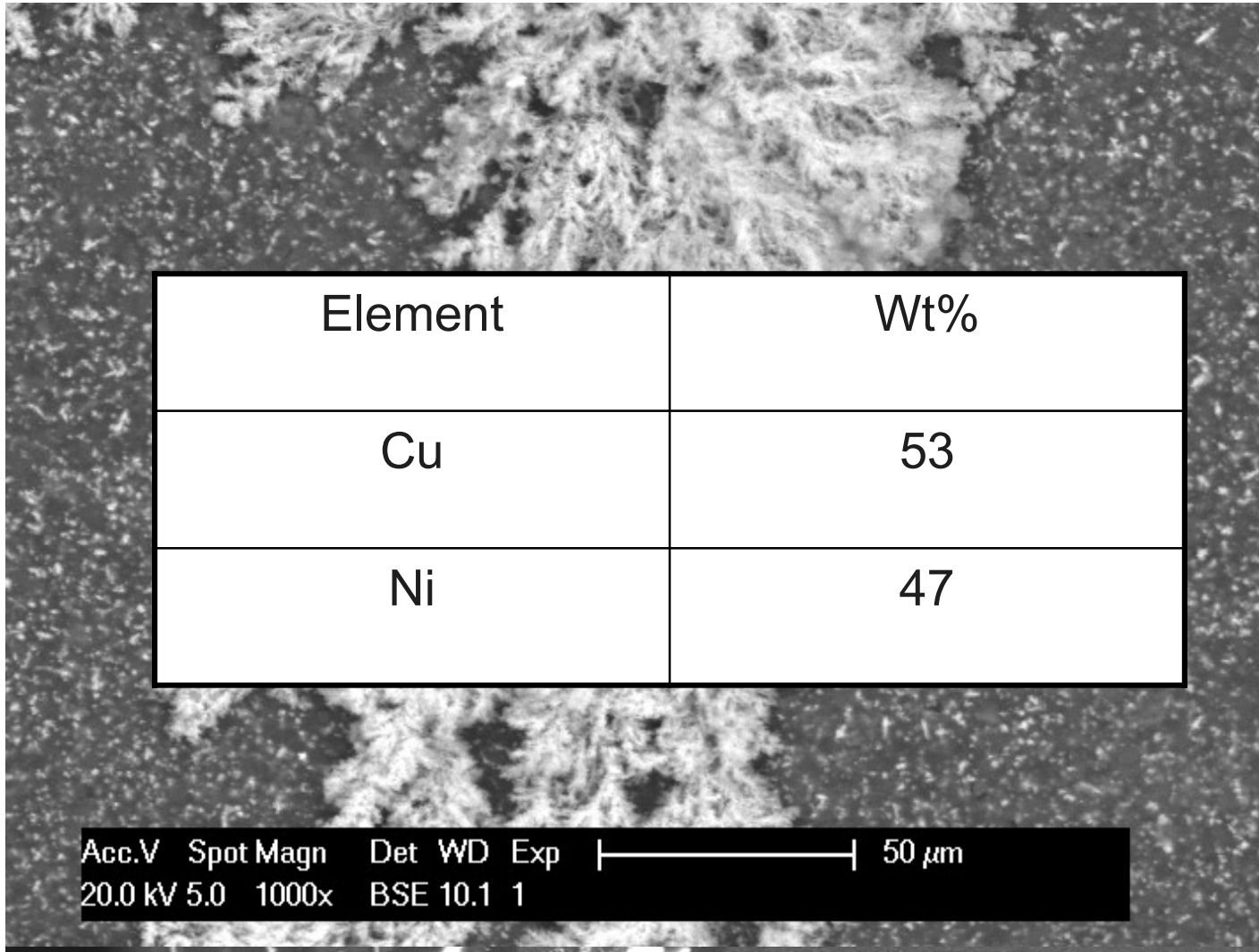
1. Tokozások (chip level)
2. Alakkövető bevonatok (modul level)
3. Kiöntés, alkatrész ház alkalmazása (device level)

## *Kémiai/elektrokémiai módszerek:*

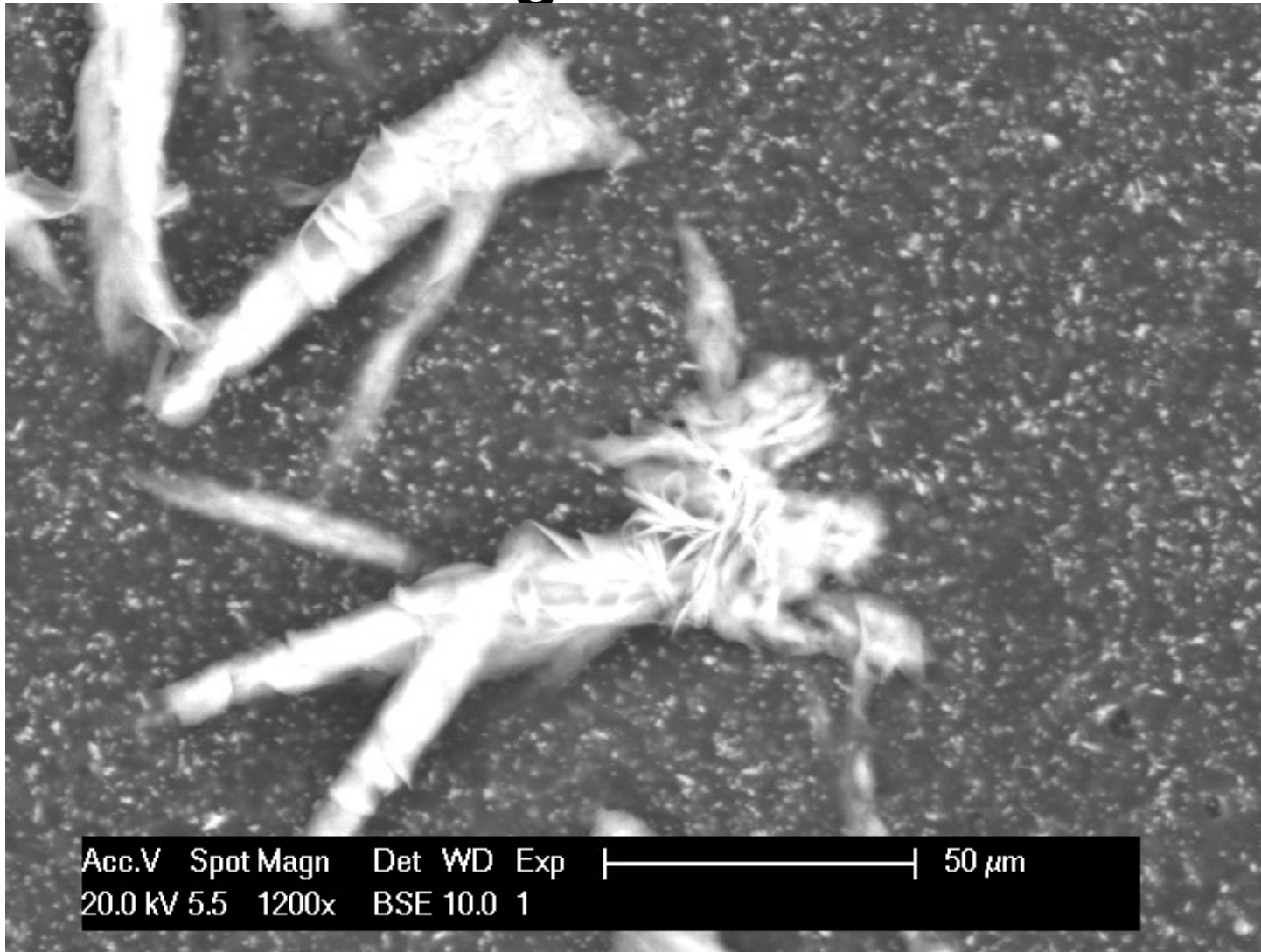
1. Anódos védelem (passzíváló réteg)
2. Katódos védelem (passzív, aktív)
3. Inhibitorok alkalmazása (pl.:  $\text{Na}_2\text{S}$  lassítja az Sn migrációt)

***Tudományos megközelítés:*** Folyamatok mélyebb megismerése vezethet hatékonyabb védelemhez

# Cu/Ni dendriték forrasztás gátló bevonaton



# Pb tűk forrasztás gátló bevonaton

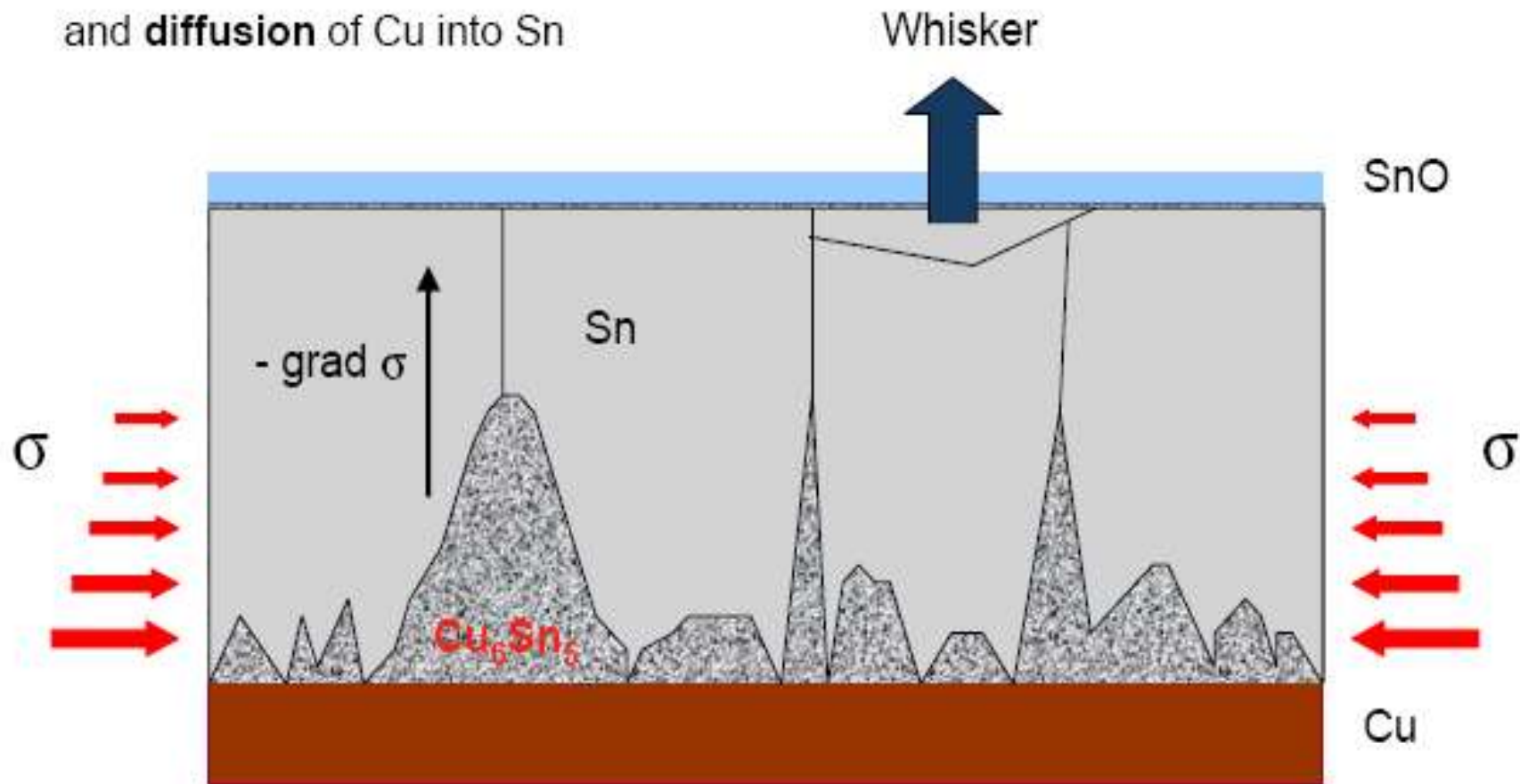


# „The show must go on” - Whiskerek

## Whisker investigations

chemical reaction:  $6\text{Cu} + 5\text{Sn} \rightarrow \text{Cu}_6\text{Sn}_5$

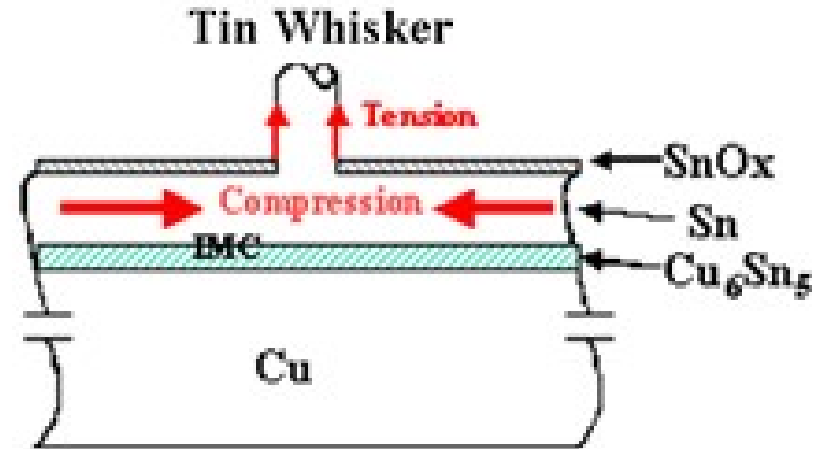
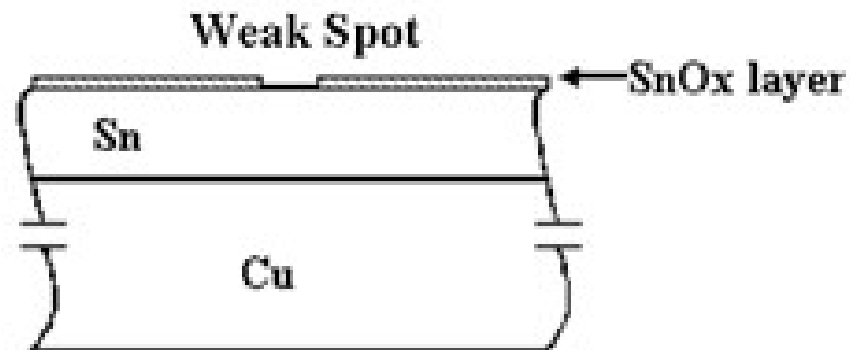
and **diffusion** of Cu into Sn



# Az ón whisker kialakulása

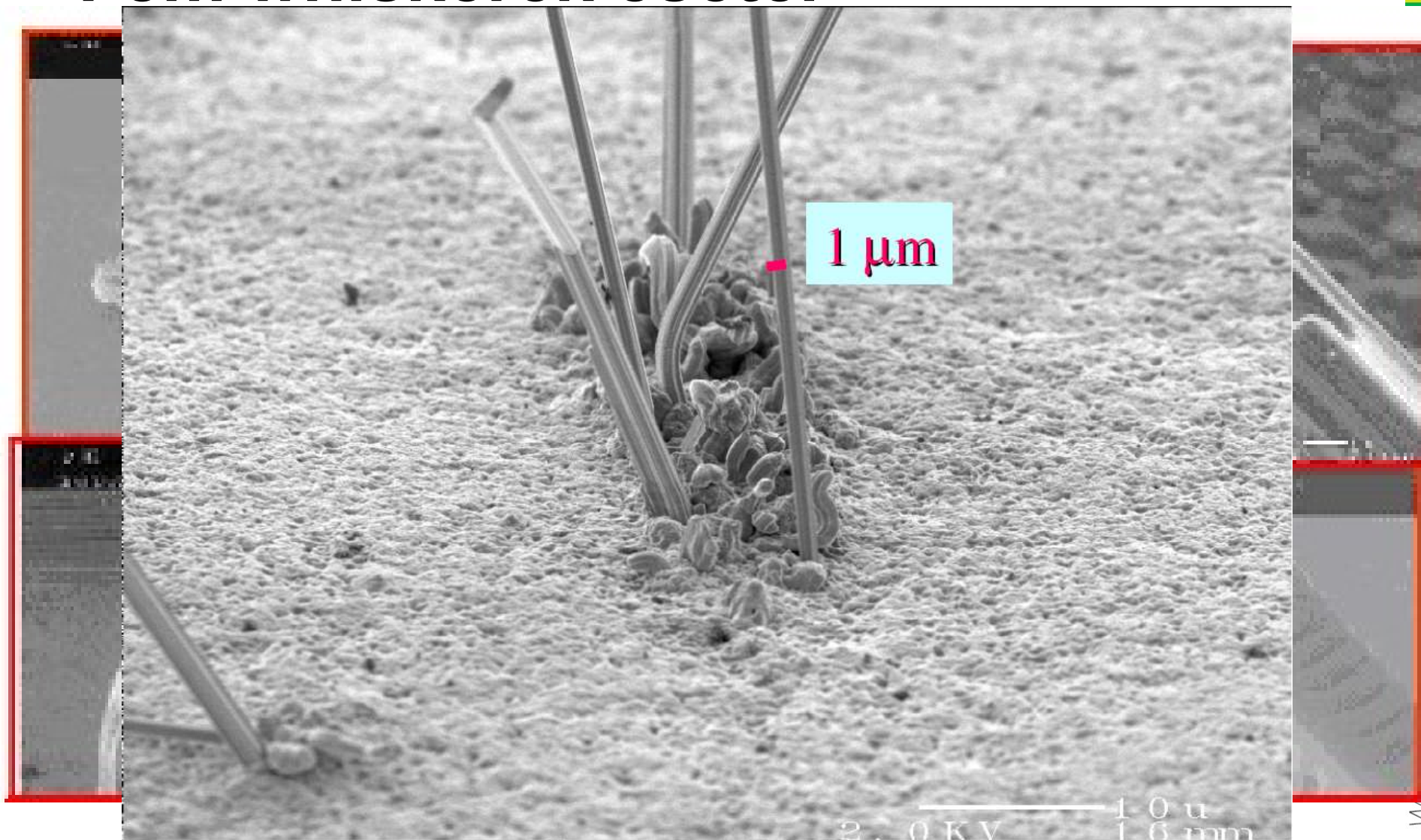
1. Az ón bevonatban mechanikai feszültség lép fel.

2. A felső ón-oxid rétegen lévő repedésen át ónkristály kinövés keletkezik





# Fém whiskerek esetei





# Őn whisker katasztrófa esetek

- Szívritmus szabályozó meghibásodása.
- F-15 radar meghibásodása.
- Phoenix levegő-levegő rakéta meghibásodása.
- GALAXY 4 meghibásodása. A műhold teljes elvesztése,
- GALAXY 7 meghibásodása. A műhold teljes elvesztése.
- SOLIDARIDAD 1 meghibásodása. A műhold teljes elvesztése.
- Cr47-es dióda meghibásodása nukleáris reaktor vezérlőegységében.
- Millstone nukleáris reaktor meghibásodása.

# Védekezés ón whiskerek ellen

1. Pb ötvöző

→ 2006 óta nem megoldás

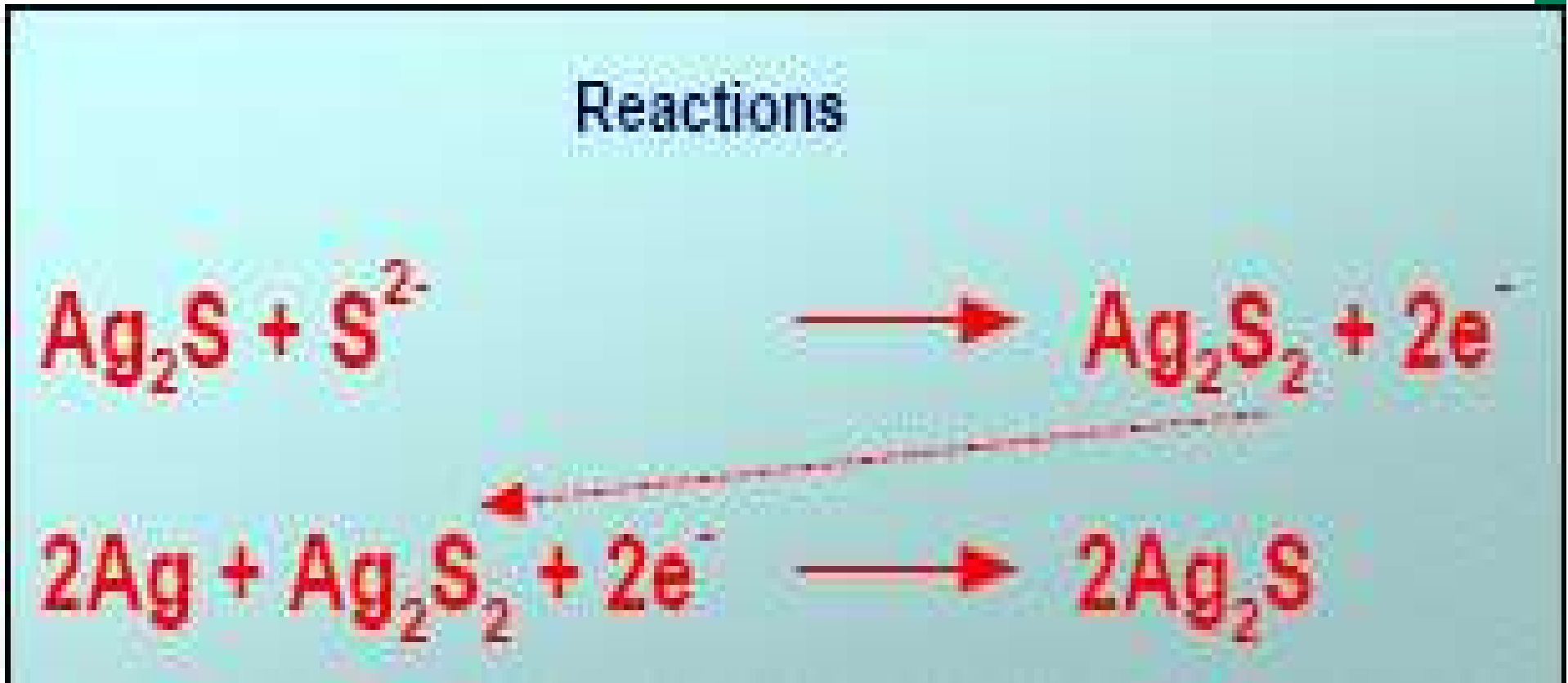
2. Új utak:

- hőkezelés ?
- bevonatok ?

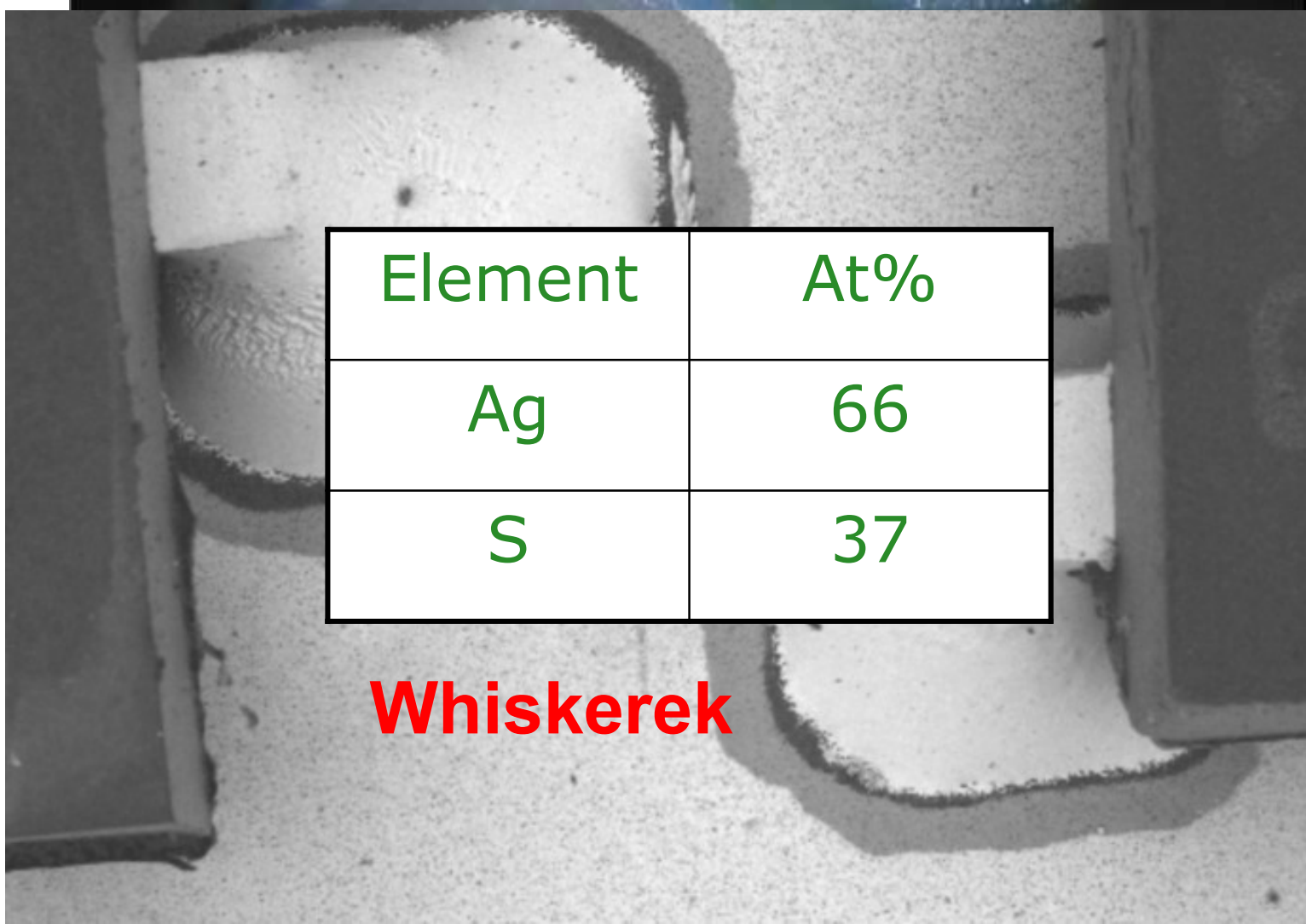
# Ag<sub>2</sub>S whiskerek keletkezési

mechanizmusa

## 2. Monoklin túkristály képződés:



# Ag<sub>2</sub>S whiskerek forrasztási helyeken



# Whiskerek vizsgálati problémái

- Anyagok: Cu, Zn, Sn, Ag, Au, Ag, Ag<sub>2</sub>S
- A keletkezési mechanizmusok sokszínűsége (intermetallikus képződés, felületi oxid v. szulfidképződés)
- Különböző gyorsítási modellek (hőciklusok relaxáló hatása, páratartalom növelése lehet inert, környező gázok stimulálhatják)

# Konklúzió

- Az elektronikus készülékek katasztrofális következményekkel járó meghibásodását előidéző okok gyakran a dendritek és whiskerek
- Bár a hibamechanizmusok ismertek, a környezeti paraméterek pontos hatásáról sok a nyitott kérdés
- A teljes eliminálás nem lehetséges, csak az együttélés „megtanulása”